

An Improvement on the Analysis Techniques of Environmental Radioactivity Around Nuclear Power Plants

Soong-Pyung Kim, Gyung-Sun Chae, Woon-Kwan Chung
Department of Nuclear Engineering, Chosun University
Chosun University, 375 Seosuck-dong Dong-gu Kwangju 501-759
(Received 22 December 1994; Accepted 16 February 1995)

원전주변 환경방사능 분석기술의 개선(I)

김승평 · 채경선 · 정운관
조선대학교

Abstract - An estimate of a change in radioactivity's circumstances around the nuclear power plant is validated with the results of the radioactivity measurements are compared. In this study, to further enhance the reliability of the results obtained from the environmental radioactivity measurements and analysis around the nuclear power plants that have been carried out up to the present. In the Korea standard, there is the technical analysis guide for general stable chemical element's, but there is not the technical analysis guide for the radionuclides. therefore the environmental sample collection, the pretreatment of the sample and radionuclide analysis in the sample, the result's of the environmental radioactivity measurements by each organization, etc. are different. It is not sufficient for the database to forecasting a change in radioactivity's circumstances. A comparative study of collection and pretreatment techniques for the soil sample, the results by comparison, the method of minimizing the relative error are proposed. At one side of sample collection, there are going to be considered that the surroundings of sample collection like the lay of the land, the provision of the selection standard for the area and pathway of radionuclide adhesion, the coherence of sample collection, etc.. at another side of pretreatment of the sample and measurement in the case of soil sample, how to do homogeneously the soil particle size and the standard tools, i.e. kinds of meshes, must be selected.

Key words : Environmental radioactivity measurements, γ -nuclide analysis

요약 - 환경방사능 분석기술은 원자력시설의 가동중 정상 및 비정상 상태시 이상판단과 지역특성에 따른 주변환경 방사능의 특성 및 거동과악 등을 하는데 필요한 기술로 원전 가동전,후 환경방사능량을 비교함으로써 방사능 오염 및 변화상황을 파악할 수 있다. 국내에는 현재 관련법에 따라 규제기관 및 관련기관에 의해 환경감시가 계속되어오고 있으나 분석기술에 대한 한국규격이 없으므로 분석절차가 서로 상이하고 분석결과의 상대오차가 커서 환경방사선 감시결과에 대한 신뢰성이 떨어지고 있다. 따라서 토양시료에 대한 감마핵종 분석에 한정하여 기수행된 측정방법 및 결과 등을 비교분석하므로써 원전주변 환경방사능 감시목적에 적합한 분석기술의 신뢰도 향상 및 상대오차를 최소화 방안을 도출하였다.

중심단어 : 환경방사능 분석기술, 감마핵종분석

* 이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 지방대학 육성과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

서론

국내에서는 원자력법 시행령 제111조 제1항의 규정과 과학기술처 고시 제85-5호 “원자력발전소 주변 환경조사 지침”에 의거하여 원자력발전소 및 원자력관련시설 주변환경에 대한 환경감시활동의 일환으로 원자력관련시설 주변 환경방사능분석이 규제기관과 관련기관에 의한 환경감시와 함께 조사가 계속되어왔다[1, 2, 3, 4]. 그러나 현재 일반 안정원소에 관한 분석기술지침(한국규격: KS)은 규정되어 있으나, 방사성핵종분석에 관해서는 확고히 규정되어 있지 않은 상태로[5] 각 측정기관별로 측정방법 및 결과가 상당한 차이를 보이고 있어서, 원전가동으로 인한 환경방사능 준위 상황을 예측하기 위한 데이터베이스로는 부적합 할 뿐만 아니라 차후 방사선 환경특성 및 거동과약에도 신뢰성이 떨어진다고 볼 수 있다.

환경방사능 측정과 분석에 의한 결과의 신뢰도를 향상시키기 위해서는 각종 시료의 채취방법과 전처리 기술이 확립되어야 하고 기저방사선의 처리기술, 환경방사능 인증 표준선원의 제작 보급, 검출기 효율 및 에너지 교정기술, 신뢰도를 높이기 위한 검출기의 효율 향상과 성능개선 등의 노력이 필요하다고[6] 볼 수 있는데, 본 연구에서는 지금까지 개발된 여러 가지 환경방사능 분석기술을 분석하여 국내에서 현재까지 수행한 측정방법 및 결과 등을 비교함으로써, 감마방사능 분석절차상 발생하는 상대오차를 최소화 방안과 신뢰도 향상 방안을 제시하였다.

환경방사능 분석기술

원전 주변의 방사능 환경을 감시하고 그 오염여부를 정량하는 방법이 많은 기관과 관련자들에 의해 연구되고 있는데, 연구결과에는 반드시 신뢰성 확보가 가장 선결요건이다. 국내의 경우 원자력법 시행령 제111조와 원자력발전소 주변환경 조사지침인 과학기술처 고시 제85-5호에 의거 원전의 운영이 주변 환경에 미치는 영향을 조사하기 위하여 각 기관의 주변환경 조사지침 및 환경방사능 조사절차서에 의해 원전주변의 시료채취 및 시료를 분석하고, 분석기술 향상을 위한 방안의 일환으로 원전 환경실험실간 교차분석과 그 지역소재의 대학에 의뢰하여 신뢰성과 객관성을 제고하고 있다.

방사능 측정의 개념

γ -선을 검출하는 장치는 보통 입사되는 모든 방사선 에너지가 출력신호로 나올 수 있도록 감마선으로부터 생성되는 2차전자를 완전히 정지시킬 수 있게 고안된다. 방사선의 특성과 물질과의 상호작용에 추가하여 붕괴의 성질, 선원의 물리적 형상, 화학적 형상 등에 따라 방사능의 측정방법이 다양한데, 방사능의 측정방법에는 크게 절대측정과 상대측정으로 나눌 수 있다. 절대측정법이란 원자핵이 붕괴할 때 방출되는 방사선을 계수함으로써 단위시간당의 붕괴수를 계산하여 방사능을 결정하는 방법으로서 정입체각법, 4 π 계수법, 동시계수법 등이 있고, 상대측정법이란 측정 대상 시료선원과 기준이 되는 표준선원과 동일조건에서 측정하여 각각 경우의 계수율과 표준선원의 방사능으로부터 비례계산에 의하여 피 측정선원(시료선원)의 방사능을 구하는 방법으로서 현재 국내 대부분의 측정기관이 γ -선의 측정시 사용하고 있는데, 스펙트럼 해석과 함께 이에 대한 자세한 내용은 참고문헌[6~10]과 같다.

분석기술 비교

국내의 환경방사능 관련 측정은 원전 사업자를 포함하여 여러 기관에서 실시되고 있으나 이들 기관의 측정결과 상대오차가 커서 방사능 환경준위에 대한 신뢰성이 미흡하다고 볼 수 있다. 이것은 각 기관별로 통일되고 인증된 표준분석절차가 아닌 각 기관별 자체 기술지침에 의한 측정의 결과로서 보다 향상된 선진국형 분석기술의 습득에 기인한 것으로도 생각할 수 있다. 그러나 자연방사능량을 포함한 원전 가동으로 인한 주변환경 감시 측면에서 상대오차를 최소화한 보다 신뢰성 있는 측정결과의 확보가 요구되며, 이에 따라 표준분석법의 한국규격 기술지침의 확립과 함께 각 실험실간 교차분석으로 국내 방사능 환경의 신뢰성 높은 인증된 기초자료를 확보해야 한다. 이에 관한 최근의 연구자료로서 환경방사능 분석법 연구[11]에서 원자력발전소 환경방사능 표준분석 절차(안)이 제시되었으나 한국표준분석기술지침(한국규격: KS)으로는 인정되지 못한 상태이다. 각 기관의 핵종별 분석기술지침을 살펴보면 [5, 11, 12, 13], 측정기기 요건 및 계측절차상 분석기술 등에 대해서는 대부분 유사하나 시료의 전처리 과정에서 다소 차이를 보였고 이에 따라 측정결과 또한 다양함을 [1, 2, 3, 4, 14, 15] 알 수 있다.

1) 시료의 채취 및 전처리

시료의 채취 및 전처리 과정은 측정대상으로 하는 핵종에 따라 다양한데 일반적인 감마선 방출 핵종에 관하여는 참고문헌[5, 10, 11]에 자세히 다루고 있다. 시료의 채취 및 전처리 방법에서 한국원자력안전기술원의 경우는[1] IAEA의 표준시료 분석법에 따르고 있고, 한국원자력연구소의 경우 원자력발전소 표준환경 방사능 조사 절차서(NPGD/EM-2/88)[13]를 기본으로 하고 있으며, 기타 기관의 경우는[14] KRISS 표준안[11]에 따르고 있는데 계측방법론적으로는 유사하나 시료의 채취 및 전처리 과정에서 다소 차이를 보이고 있다. 최근에는 발전소 환경실험실에서도 점차 KRISS의 추천 표준안에 따르고 있는 추세이다[12]. 각 시료 유형별 시료채취법에 대해서 현재 국내·외적으로 실시되고 있는 방법들이 다양한데, 토양의 경우 채취법은 Table 1에 시료의 전처리에 대해서는 Table 2에 나타내었다. 표에서 처럼 각기 다른 방법으로 분석하여 나타난 서로 다른 측정결과치로 인해 분석결과의 신뢰성이 떨어지고 있고, 자료의 객관성을 제고하기 위해 실시하는 발전소와 Q.C.(Quality Control) 분석기관간에도 큰 상대

오차(Table 6 참조)를 보이고 있으므로[3, 4], 효율 개선 및 오차 최소화를 위해서는 더욱 향상된 분석방안의 표준화가 요구된다고 할 수 있다.

2) 분석장치 및 스펙트럼 해석

과학기술의 발달과 더불어 계측기기의 고정밀도 및 전자계산기기의 성능 또한 많은 향상을 거듭하여 현재 국내에 유입되어 가동중인 환경방사능 계측 관련기기 종류도 많고 다양하다. 대표적인 것으로는 Canberra Series, EG&G ORTEC, LBC TENNELEC 등 회사들의 제품들이 있는데, 전배타방사능은 물론 감마선분광분석용으로 검출성능 및 계측효율상 큰 차이를 보이지 않고 있다. 정량분석을 위한 스펙트럼 해석기법 또한 전자계산기의 발달로 대부분 컴퓨터에 의해 자동계산되어지고 소프트웨어간 다소 차이는 있으나 분석효율상 큰 문제가 제기되지 않고 있다. 많이 사용되는 소프트웨어로는 OMNIGAN V3.40(EG & G Ortec, USA), SAMPO 90 V3.1(Canberra Nuclear Products Group, Finland), OSQ/PLUS V4.30(Apter Nuclear Inc., Canada) 등이 있다.

Table 1. Collection methods of soil samples.

Measurement Organization	the main methods
JMST	- Use the gathering tool - Depth : Topsoil, Underground for the purpose - Gathering point(/1000 m ²) - Rice paddy : 5 points, Farm : 8 points
EML	- Depth : 5 cm - Gathering area : 620 cm ² , 0.5 m step
Karlsruhe Nuclear Research Center	- Use the gathering tool - Depth : 5cm(Pasture), 15~300cm(Arable land)
USA	- Use the gathering tool
IAEA	- Depth : 25~50 cm
KAERI	- Gathering area : more than 200 cm ²
KEPCO	- Use the gathering tool - Unarable land - Depth : 4~5 cm - Gathering point : Above 3 points in a radius of 5 m
KRISS	- Use the gathering tool - Unarable land - Depth : 5 cm - Gathering point : Above 5 points in a radius of 5 m

Table 2. Pretreatment methods of soil & sediment.

Measurement Organization	the main methods
JMST	-105°C Dry -2 mm Sieve -Abstraction from 9 parts
USA	NIST -Use 1ℓ Marinelli beaker(Sample weight 1.1kg) Duke Power Company -At 100°C 48 hour dry
EML	-1.4 mm Sieve -More than 100g
Karlsruhe Nuclear Research Center	-105°C~110°C Dry -0.8 mm Sieve -0.5 ℓ measured in the 1 ℓ Marinelli beaker
IAEA KAERI	-50°C hot wind dry -2 mm Sieve -Use a root in grinding
KEPCO	-110°C Dry -200 Mesh Sieve -50g Sample
KRISS	-First, 8 mm sieve -105°C 48 hour dry, Second 2 mm sieve -Abstraction from 9 parts -Measured in the 450ml Marinelli beaker

기 수행 자료분석

원전 주변의 방사능 환경 변화 상황은 원전 가동 전,후의 주변환경 방사능량을 비교함으로써 확인할 수 있는데, 국내에는 이와 관련한 방사능 측정에 관한 한국규격 기술 지침이 없으므로 그동안의 환경방사능 분석치를 살펴보면 각 측정기관별로 측정방법이 상이하고 그 결과 또한 다양하게 나타나고 있다. 그동안 국내에서 진행된 환경방사능 조사결과를 일

부핵종에 한정하여 비교분석하였는데, 이는 환경중에 가장 많이 존재하는 감마핵종과 핵분열로 인해 환경 유출된 감마핵종의 조사시기별 핵종 거동과약을 하였다. 조사결과 자료로는 한국원자력안전기술원에서 수행한 바 있는 한국토양중 감마핵종의 분포에 관한 연구[1]와 한국원자력연구소의 환경시료 방사능 분석결과[4] 및 영광원자력발전소의 원전부지주변 환경방사능 조사 및 평가보고서[3] 자료를 사용하였다.

Table 3. Measured radionuclides density distribution of soil at a different organization.

Section	KINS[17]	KAERI (Latest 4years)	Yongkwang NPP (Latest 4years)	Chosun Univ.(Lab.)
K-40	391~1140	248.9~1074	280~1400	383.5~932.5
Cs-137	15.1~73.1	N.D.~18.4	N.D.	N.D.
Machinery & tools	Quantum Tech. GDR-C	EG&G ORTEC SYSTEM	CANBERRA Ser. 85	CANBERRA Ser. 90

* Unit : Bq/kg.dry.

* N.D. : Not Detected.

Table 4. A Measured gamma radionuclides density of soil at KINS[14].

지역	구분	Th-232	Ra-226	K-40	Cs-137
경남	최고	282	58.8	1180	81.5
	최저	26.0	14.4	221	8.96
	평균	53.1	28.4	608	35.1
경북	최고	156	71.9	1240	51.0
	최저	15.9	9.32	217	9.96
	평균	50.0	28.2	716	24.9
전남	최고	110	47.0	1140	73.1
	최저	28.7	16.8	391	15.1
	평균	59.6	31.9	634	34.3
전북	최고	92.7	39.5	967	49.9
	최저	16.0	9.95	189	11.8
	평균	56.4	27.7	673	28.2
전체	최고	282	71.9	1240	81.5
	최저	15.9	9.32	189	8.96
	평균	54.5	29.2	687	30.8

* Unit : Bq/kg.dry.

Table 5. The measured activity of soil at KAERI.

Measurement period	Nuclides	Sample collection points	
		A public school of Dong-myung	Yhang-gii
'90. 2/4	Cs-137	N.D.	N.D.
	K-40	-	-
'90. 4/4	Cs-137	18.4	<MDA
	K-40	371.8	248.9
'91. 2/4	Cs-137	<MDA	<MDA
	K-40	140.7	360.3
'91. 4/4	Cs-137	<MDA	<MDA
	K-40	472.2	339.1
'92. 2/4	Cs-137	<MDA	1.7
	K-40	337.2	1020.0
'92. 4/4	Cs-137	<MDA	<MDA
	K-40	669.9	313.6
'93. 2/4	Cs-137	8.4	2.8
	K-40	418.4	309.6
'93. 4/4	Cs-137	<MDA	<MDA
	K-40	392.6	410.2

* Unit : Bq/kg.dry

- 1) 측정결과 분석
각 측정기관별 방법과 측정기기가 상이하므로 여

기서는 HPGe 검출기를 사용한[9] 방사능의 상대측정법으로 나타난 결과들만 고려하였다. 대표시료는 토양에 관련한 조사결과가 많으므로 토양을 사용하였으며, 대표핵종으로는 40K, 137Cs 핵종을 사용하였다. 방사능 측정 시기도 상이하나 측정결과가 나온 시기부터 각 기관별로 집계하였는데, 토양의 특성에 따른 차이를[1] 최소화하기 위해 전남지방의 경우에 대해서만 각 기관별 핵종 농도 분포를 Table 3에 나타내었고, 한국원자력안전기술원에서 수행한 토양의 지역별 감마동위원소 분석결과를 Table 4에 나타내었다. 각 기관별로 사용한 검출기는 HPGe 검출기로 모두 유사한 유형으로서 계측기의 성능 및 스펙트럼 해석에서 큰 차이를 보이고 있지 않은데도 그 계측결과는 상당한 차이를 보이고 있다. 또한 한국원자력연구소에서 측정한 전남 영광군의 동명국교와 양지의 동일지점에 대한 시료분석 결과와(Table 5), Q.C.분석에서도(Table 6) 상대오차율이 큰 것을 볼 수 있다.

상대오차 발생 분석실험

비교 실험

토양시료에 대한 실제 측정에 사용된 무게의 토양 방사능량과 단위화산된 방사능량의 차이를 확인하였

Table 6. The Q.C. measurement results* of environmental samples around Young Kwang NPP's.

Sample	Sampling points	KAERI	Yongkwang NPP	Unit	
Soil	Dong-myung	472.2	1280.0	Bq/kg-dry	
	Yhang-gii	339.1	520.0		
Submarine deposit	Bae-su-gu	705.9	1070.0		
	Mhong-nenggi	600.3	890.0		
Pine needles	Dong-myung	51.4	109.1		
	Yhang-gii	51.6	102.2		
Cereal	Yhang-gii	31.6	21.4		
Vegetables	Yhang-gii	56.5	170.0		
Fishes	Bae-su-gu	69.4	71.2		Bq/kg-fresh
	Yhui-do	68.8	77.4		
Shellfish	Bae-su-gu	37.6	97.2		
	Yhui-do	35.3	99.9		
Seaweeds	Bae-su-gu	82.7	150.4		
	Yhui-do	142.0	145.0		

* Nuclide : K-40.

* Source : Ref. [19] Q.C.analysis results binder.

고, 시료의 전처리시 시료의 대표성을 고려하는데 있어서 체로 쳐서 고운 분말형태로 만드는 것과 그렇지 않은 것의 차이를 확인하였다. 이는 각 기관의 실제 측정에서 사용된 시료의 무게와 밀도가 상이하다는데 착안하였는데 보정용 선원시료와 측정시료의 무게 및 밀도 또한 각 기관별로 상이하다.

1) 실험절차

광주시 서석동일대의 토양을 채취하여 완전 건조하고 충분히 혼합한 후, 마르넬리 비이커에 대체로 고운 흙만 포함하고 체로 안친 것, KRISS표준안에 준한 2 mm 체로 친 것, 한전방법인 200 mesh 체로 친 것, 기타 400 mesh 체로 친 것을 각각 50 g씩 준비하였고, 400 mesh 체로 친 토양시료를 표준안에 제시된 450 ml 마르넬리 비이커에 각각 40 g, 50 g, 60 g, 70 g을 전자천칭으로 칭량하여 각각 준비하였다. 사용된 기기는 Cannbera Series 90으로 계측시간은 각 시료에 대해 20,000 초로 설정하여 각각 3 회씩 측정하여 평균하였고, 기타조건은 최대한 일정하게 유지하였다. 인공핵종의 불검출로 인해 자연계

의 대표핵종인 K-40을 사용하여 차이를 확인하였다.

2) 실험결과

실험결과를 Table 7~8, Fig. 1~2에 나타내었고, 스펙트럼 분석도표를 Fig. 3에 나타내었다. 표에서 보면 동일단위로 나타나지만 실제 측정량에 따른 계측값의 차이를 확인할 수 있고, 전처리시에 체로 친 것과 안친 것, 즉 시료의 대표성을 고려한 것과 안한 것에 대한 차이를 확인할 수 있었다.

상대오차를 최소화 방안

계측성능과 전문 측정인력간의 오차율에 대한 것

Table 7. Comparison of result for sample mass measured.

Nuclide	Activity for the sample mass			
	40g	50g	60g	70g
K-40 (Bq/kg-dry)	230.4	280.2	323.7	381.5

Table 8. Comparison of result for the pretreatment used mesh.

Nuclide	Activity for the pretreatment			
	Soft soil	2mm Sieve	200mesh Sieve	400mesh Sieve
K-40 (Bq/kg-dry)	189.7	197.3	251.8	282.2

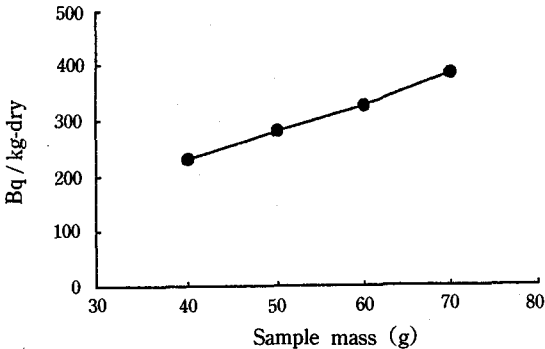


Fig. 1. Measured results for some sample mass in same condition.

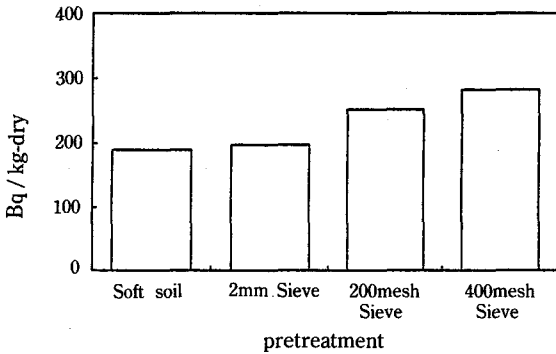


Fig. 2. Measured results for the different pretreatment used mesh.

은 표준안의 제시와 교육으로 최소화 가능하고, 현재까지 개발 제시된 분석법을 종합하여 KRISS의 시료채취 및 전처리에 의한 방법이 대체로 양호하다고 판단하고, 다만 제시된 분석법에서 원전 주변 환경 방사능 감시 목적상 표준안으로서 방법을 통일 시켜야 할 필요성이 있으며, 이것으로서 원전주변 환경 방사능 준위 동향 파악과 발전소 가동으로 인한 핵종유출 등의 감시, 평가가 이루어져야 한다. 감마선 방출 핵종검출에 대한 환경시료 분석과정 가운데 상

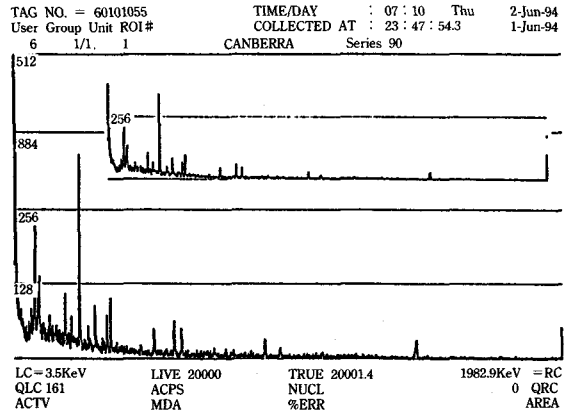


Fig. 3. Gamma-ray spectrum of soil sample by Canberra series 90.

대오차율의 발생원인을 분석해본 결과 이를 최소화 할 수 있는 방안이 많이 있었으나 최소한 일관성이 있어야 할 필요성이 있는 것들을 제시하였다 :

1) 시료의 채취

- 핵종이 침착가능한 지역이 우선 선정되어야 하고, 인간피폭 경로상 중요지점이 고려되어야 한다.
- 채취방법에 일관성이 있어야 한다.

2) 시료의 전처리 및 측정

- 토양시료의 경우 대표성을 고려하여 토양입자의 크기를 균질하게 할 방법과 표준도구가 선정되어야 한다(즉 사용할 체(Mesh)의 크기).
- 물시료의 경우 증발농축할 것인지 생체로 할 것인지에 대한 표준이 설정되어야 하며, 증발농축할 경우 농축비는 얼마로 할 것인지 제시되어야 한다.
- 회화가능 시료에 대한 회화율의 차이로 오차율이 심한데 생체법이 가능한 경우 생체법으로 통일하고, 측정량에 대해서는 회화측정값인지 생체 측정값인지를 명시한다.
- 전처리시에 사용하는약품, 시약에 대한 구체적인 순도기준이 제시되지 않았는데 고순도로 설정되어야 한다.
- 측정단위의 통일과, 실제 측정에 사용될 시료량을 설정하여 정확히 칭량하고 계측시간 또한 일관성 있게 정한다.
- 시료 측정용 표준 용기에 대해 구체적인 사항이 제시되어 있지 않는데 각 측정기관마다 통일 시킬 필요가 있다.

결론

환경방사능 측정과 관련된 각 규제기관 및 측정기관의 결과치를 살펴보면 측정방법과 결과들이 서로 상이함을 알 수 있었는데, 이것은 국내에 일반 안정 원소에 관한 분석기술 지침(한국규격:KS)은 규정되어 있으나 방사성 핵종분석에 관해서는 규정되어 있지 않은 상태로서 각 측정기관별로 나타난 결과치의 차이는 원전가동으로 인한 방사능 환경변화 상황을 예측하기 위한 데이터베이스로는 부적합 할 뿐만 아니라 차후 방사선 환경특성 및 거동 파악에도 신뢰성이 떨어지므로 환경방사능 시료분석시 고려되어야 할 필요성이 있는 상대오차율 최소화 방안을 시료채취와 전처리 및 측정과정에 대해 제시하였다.

결론적으로 환경으로의 방사능 핵종 방출 감시와 관련하여 환경방사능 측정과 분석에 의한 결과의 신뢰도를 향상시키기 위해서는 각종 시료의 채취방법과 전처리 기술에 대한 기준안이 확립되어야 하고, 기저방사선의 처리기술, 환경방사능 인증 표준선원의 제작 보급, 검출기 효율 및 에너지 교정기술, 신뢰도를 높이기 위한 검출기의 효율 향상과 성능개선 등의 노력이 필요하며, 한국규격표준안의 개발과 함께 여러 측정기관의 인증된 방사능 환경농도 분포조사 및 결과 확보가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 김계훈 외, "한국 토양중 감마핵종의 분포에 관한 연구", 연구보고서, 한국원자력안전기술원(1993).
- 임용규, "한국원자력 안전기술원 연보", 한국원자력안전기술원(1993).
- "원자력발전소 부지주변 환경방사능 조사 및 평가보고서", 한국전력공사 영광원자력본부(1991~1993).
- "환경시료 방사능 분석결과 통보", 한국원자력연구소(1990~1994).
- "방사성핵종 표준분석법(KINS/G-009)", 한국원자력안전기술원.
- 오필제 외, "방사선 측정", 한국표준과학연구원(1993).
- K.Debertin & R.G.Helmer, "Gamma-and X-Ray Spectrometry with Semiconductor Detectors", pp.29~287, Elsevier Science(1988).
- N.Tsoufanidis, "Measurement and Detection of Radiation", pp.19~74, Hemisphere Pub. Co. (1983).
- G.F.Knoll, "Radiation Detection and Measurement", pp.50~440, John Wiley & Sons, Inc. (1989).
- R.j.Budnitz et al., "Instrumentation for Environmental Monitoring", John Wiley & Sons, 1983.
- 엄희문 외, "환경방사능 분석법 연구", 한국전력공사(1992).
- "원자력발전소 환경방사선 감시 지침", 한국전력공사(1994).
- "원자력발전소 주변환경 조사 지침서", 한국전력공사 발전사업단(1990).
- 김승평 외, "영광원자력발전소 주변환경 방사능 측정", 조선대학교부설원자력연구소(1992~94).
- 문석형 외, "전국토 방사선 환경조사", 한국원자력안전기술원(1990).
- "국내외 교차분석 및 방사성 핵종의 표준분석 방법 연구(KINS/AR-087)", 한국원자력안전기술원(1991).
- R.L.Kathren, "Radioactivity in the Environment: Sources, Distribution, and Surveillance", pp.137~281, Harwood Academic(1984).
- R.Granier et al., "Applied Radiation Biology and Protection", pp.232~240, Ellis Horwood (1990).
- M.Garcia-Leon & G.Madurga, "Low-Level Measurements of ManMade Radionuclides in the Environment", World Scientific(1991).
- "Radiochemical Procedures of Radioisotope Separation", EML Procedures Manual, Rep. HASL-300, Environmental Measurements Lab. (1983).